

Krzysztof CZERNEK

e-mail: k.czernek@po.opole.pl

Katedra Inżynierii Procesowej, Wydział Mechaniczny, Politechnika Opolska

Układy optoelektroniczne narzędziem do identyfikacji przepływów dwufazowych gaz – ciecz

Wstęp

Celem oceny dynamiki pierścieniowego opadającego przepływu dwufazowego gaz – ciecz [1–4] skompletowano dwa niezależne optoelektroniczne układy kontrolno-pomiarowe, a mianowicie:

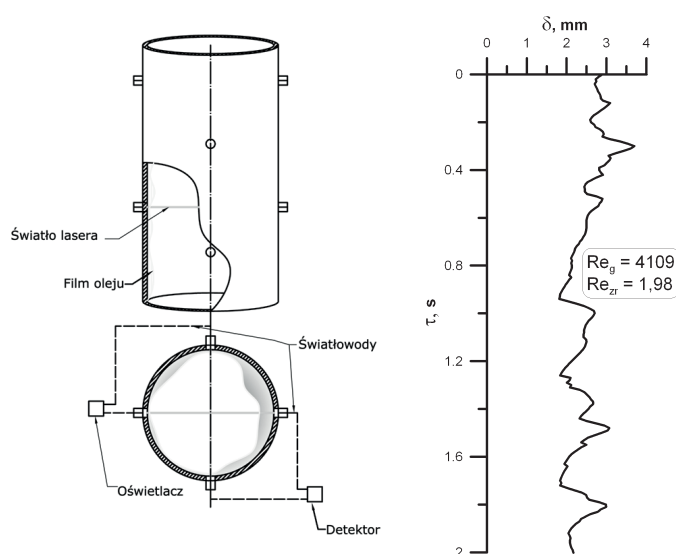
1. punktowy, z jednoosiowym źródłem światła laserowego, składający się z czterech rozmieszczonych w różnych przekrojach kanału jednoosiowych sond pomiarowych, wykorzystujących zasadę osłabienia widma światła przechodzącego przez warstwę oleju;
2. płaszczyznowy, stanowiący swego rodzaju laserowy nóż świetlny, identyfikujący obraz struktury dwufazowej w płaszczyźnie przekroju poprzecznego kanału.

Zasadę działania pierwszego z tych układów objaśniono na rys. 1. W przypadku tym, źródło światła z oświetlaczy i sygnał powrotny do fotodetektorów były podłączone do sterownika pomiarowego za pomocą światłowodów, po dwa na każdą sondę pomiarową. Sondy pomiarowe ustawione były w odstępach 100 mm, przy czym sondy te rozmieszczono prostopadle względem siebie.

Pomiar grubości warstwy oleju polegał w tym przypadku na pomiarze tłumienia sygnału optycznego za pomocą fotodetektora, oświetlonego z przeciwległej strony oświetlaczami diodowymi (LED). Za pomocą czujników optoelektronicznych, połączonych z komputerem PC wyposażonym w odpowiedni cyfrowy system pomiarowy do rejestracji i akwizycji obrazu oraz kartę wraz z oprogramowaniem, mierzona była lokalna grubość przepływających filmów cieczy, na podstawie której, określana była także natura ich zafalowania.

Długość fali światła emitowanego przez oświetlacze dobierana była doświadczalnie, na podstawie wzorcowego pomiaru widma absorpcji dla każdego rodzaju oleju. Długość ta wynosiła 470 nm (niebieski kolor) dla oleju ITERM-12 oraz 535 nm (zielony kolor) dla oleju ITERM-30MF. W obu tych zakresach oleje te wykazywały największe tłumienie sygnału.

Przedstawiony na rys. 1 zestaw pomiarowy został zaopatrzony w odpowiednie wzmacniacze sygnału z fotodetektorów oraz drivery oświetlaczy diod LED, a także oprogramowanie, umożliwiające komunikację z programem sterującym pomiarem w komputerze klasy PC. Pozwalało

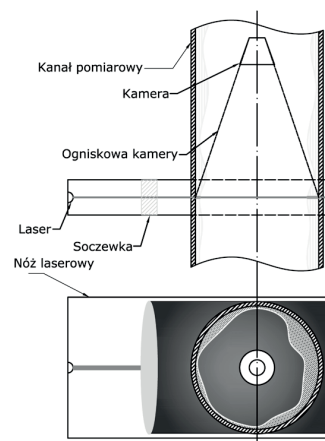


Rys. 1. Sonda optoelektroniczna jednoosiowa (punktowa) oraz odwzorowanie zmian grubości filmu cieczy wzdłuż drogi przepływu mieszaniny dwufazowej powietrze – olej w rurze o średnicy $D = 0,022$ m

to na zdalne sterowanie układem oraz odpowiednią akwizycją danych. Parametry pomiaru oraz ich rejestrację można było prowadzić dla dowolnej linii pomiarowej, charakterystycznej dla wybranej sondy pomiarowej.

Oprogramowanie sterownika pozwalało na rejestrację parametrów geometrycznych filmu cieczy, a na tej podstawie dokonywanie obliczeń okresu pojawiających się fal oleju (względem absolutnej różnicy czasu pomiędzy wskazanymi przez użytkownika grzbietami lub dolinami fali). Uzyskane sygnały pomiarowe pozwalały także na określenie częstotliwości tworzących się fal na podstawie znanego okresu fali oraz obliczanie prędkości przemieszczania się fali.

O ile opisany powyżej punktowy układ sond optycznych pozwalał na rejestrację liniowego jedynie stanu konfiguracji strugi gaz – ciecz, to drugi stosowany układ – wielokanałowy system obiektowej analizy obrazu – umożliwiał dokonywanie oceny tego stanu w odniesieniu do pełnego przekroju kanału (Rys. 2).

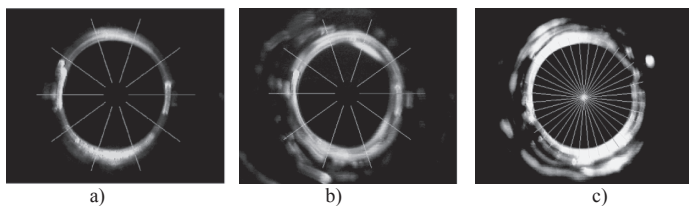


Rys. 2. Schemat obrazujący zasadę działania noża laserowego

W swej zasadniczej części system ten stanowi optoelektroniczny układ rejestracji i analizy obrazu, oparty na podobnej zasadzie działania co układ punktowy (tłumienie widma światła w warstwie cieczy), lecz w przeciwieństwie do niego zastosowano w tym przypadku wiązkę światła skupioną na całym przekroju poprzecznym kanału, a obraz rejestrowano za pomocą endoskopowej kamery cyfrowej umieszczonej w osi kanału pomiarowego. System taki, w ogólnym rozumieniu, oparty jest o zasadę działania tzw. noża laserowego, polegającą na rejestracji obrazu widocznego w płaskiej wiązce światła, skupionej w płaszczyźnie poprzecznej kanału wraz z adjustacją tego obrazu, wynikającą z zastosowanego układu optycznego.

Identyfikacja jakościowo-ilościowa obrazu otrzymywanego za pomocą systemu obiektowej analizy obrazu, polegała na odpowiednim przeliczeniu ustalonej konfiguracji optycznej na warunki rzeczywiste. Urządzenie było przy tym tak skalibrowane, aby kamera endoskopowa rejestrowała obraz dokładnie w przekroju oświetlonym przez nóż laserowy.

Zastosowany interfejs pomiarowy umożliwiał przy tym sterowanie parametrami rejestracji obrazu oraz ich archiwizacją, dostosowaną do możliwości systemu pomiarowego. Na rys. 3, tytułem przykładu, przedstawiono kilka takich obrazów, dla gładkiego i zafalowanego przepływu laminarnego warstewki cieczy uzyskanych przy przepływie dwufazowym powietrze – olej ITERM-30MF w pionowej rurze o średnicy D



Rys. 3. Obraz warstewkowych struktur przepływu: a) gładka, b) lekko zafalowana, c) zafalowana

= 40 mm. Interfejs umożliwiał też programowe zestawienie wyników pomiarów i obliczeń a zastosowany system autokalibracji układu zapewniał przy tym uzyskiwanie porównywalnych względem siebie wyników.

Zastosowanie optoelektronicznego układu pomiarowego w postaci noża laserowego stanowiło istotne uzupełnienie posiadanego przez autora optoelektronicznego systemu liniowego i pozwalało zarazem na znacznie szerszy zakres identyfikacji parametrów geometrycznych charakterystycznych spływającego filmu cieczy. Cechy konstrukcyjne tego układu, wynikające z możliwej do zastosowania w tym przypadku wideoskopowej kamery cyfrowej o wymiarach 10 mm powodowały, że układ ten można było stosować w jednym wybranym kanale, tj. o średnicy 40 mm, podczas gdy pomiar punktowy można było adoptować na kanały o różnej średnicy (12,5–22 mm). Stanowiło to niewątpliwie pewne ograniczenie w możliwości dokonywania bezpośredniego porównania wyników pomiarów w obu tych przypadkach.

Niemniej jednak, z uwagi na możliwość wykorzystania w przypadku noża laserowego dwuwymiarowego systemu identyfikacji, jego stosowanie wnosiło dużo więcej informacji w tym zakresie i pozwalało na bardziej szczegółowe poznanie natury zjawisk, zachodzących w pierścieniowym przepływie dwufazowym gaz – ciecz.

Wyniki pomiarów

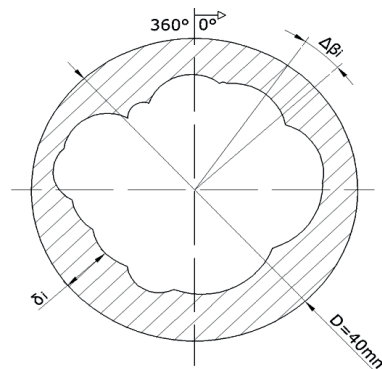
Wynikająca z zasady działania jednoosiowej sondy pomiarowej metodyka wyznaczania parametrów geometrycznych spływającego filmu cieczy była stosunkowo prosta. Polegała ona na rejestrowaniu w danym punkcie przekroju kanału lokalnego stanu grubości spływającego filmu cieczy, a poprzez to i jego kształtu w lokalnym przekroju wzdłużnym. Pewien obraz, co do rozkładu tych parametrów po obwodzie rury uzyskiwano stosując cztery tego typu sondy, rozmieszczone naprzemiennie po obwodzie rury na odcinku 200 mm. Uzyskiwane w ten sposób wyniki dla stanów lokalnych uśredniano, co umożliwiało wyznaczanie takich parametrów spływającego filmu jak:

- grubość, jako wartość mierzoną dla stanów lokalnych oraz jej wartość uśrednioną,
- stan zafalowania powierzchni międzyfazowej, możliwy do odwzorowania w płaszczyźnie wzdłużnej danej sondy (pomiar w czasie),
- wynikające z tego stanu zjawiska lokalne na granicy faz ciekłej i gazowej, takie jak amplituda i szybkość rozchodzenia się fal oraz ich wysokość.

Uśrednienie takich stanów lokalnych umożliwiało w konsekwencji wyznaczenie średniej powierzchni międzyfazowej dla danej struktury przepływu pierścieniowego gaz – ciecz lepka.

Pomiar z wykorzystaniem noża laserowego odbywał się według następującej zasady. Pierwszy etap obejmował rejestrację odwzorowania kształtu powierzchni międzyfazowej w poprzecznym przekroju kanału, czego schematyczny obraz dla danego stanu chwilowego przedstawiono na rysunku 4.

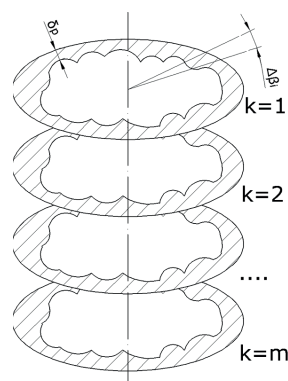
Oznaczono na nim dwa charakterystyczne parametry konfiguracji struktury pierścieniowej w takim przekroju, tj. lokalną grubość warstewki cieczy (δ_i) oraz geometryczny interwał obwodowy (kąt $\Delta\beta$), jaki odpowiada takiej grubości, w dowolnym punkcie porzecznego przekroju obserwowanego filmu cieczy. W funkcji czasu odwzorowanie to, jako następujący po sobie zbiór figur niosło za sobą informację o stanie powierzchni międzyfazowej wzdłuż osi rury.



Rys. 4. Schemat obrazu uzyskiwanego za pomocą systemu obiektowej analizy obrazu

Poprzez ustawienie kąta $\Delta\beta$, obwodowego interwału geometrycznego można było wpływać na dokładność zdejmovanego obrazu, dostosowując liczbę tych interwałów do możliwości zapisu danych w określonej jednostce czasu. Zakres tego ustawienia wynosił od 1° do 360° . Przykładowo – zaznaczając wartość kątową 36° programowo ustawiano przedział interwałów dzielących obwód kanału na dziesięć segmentów.

Jedynym w tym przypadku ograniczeniem pomiarowym było dostosowanie tego interwału do możliwości systemu rejestrującego. W określonym czasie rejestracji skutkowało to uzyskaniem dyskretnego zbioru figur geometrycznych, charakteryzujących odwzorowanie powierzchni międzyfazowej. W konsekwencji, dla określonego interwału czasu zbiór taki stanowił swego rodzaju pseudociągłe odwzorowanie obrazu powierzchni międzyfazowej, pojawiającego się w lustrze noża świetlnego. Schematycznie zilustrowano to na rys. 5.



Rys. 5. Struktura obrazu zdejmovanego w płaszczyźnie noża świetlnego ($\Delta\tau = \text{idem.}$)

W zakresie tych obliczeń możliwa była ilościowa ocena takich parametrów przepływowych jak:

- grubość warstewki cieczy (lokalna i średnia), zarówno w przekroju poprzecznym kanału jak i wzdłuż drogi przepływu, dla danego interwału czasowego i geometrycznego,
- stan rozwinięcia powierzchni międzyfazowej w danym interwale czasu,
- udział objętościowy, poprzez porównanie przekroju poprzecznego zajmowanego przez fazy ciekłą i gazową.

Przeprowadzone dotychczas badania hydrodynamiki opadającego w rurach pionowych przepływu dwufazowego gaz-ciecz bardzo lepka, potwierdziły dużą efektywność omawianych systemów optycznych do oceny i opisu dynamiki filmów cieczy o dużej lepkości.

LITERATURA

- [1] J. Schmidt, H. Giesbrecht, C.W.M. van der Geld: *Int. J. of Mul. Flow*, **34**, (2008).
 - [2] K. Czernek, G. Filipczak, S. Witczak: *Przem. Chem.*, **87/2**, (2008)
 - [3] X-X. Xu: *J.1 of Petr. Sci. and Eng.*, **59**, (2007)
 - [4] L. Wojtan, T. Ursenbacher, J.R. Thome: *Exp. Ther. and Fluid Sci.*, **29**, (2005)
- Praca naukowa finansowana ze środków na naukę w latach 2006–2009 jako projekt badawczy Nr PBW-1368/T02/2006/31.**